



①9 **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 199 55 565 A 1**

⑤① Int. Cl. 7:  
**F 16 C 33/30**

②① Aktenzeichen: 199 55 565.6  
②② Anmeldetag: 18. 11. 1999  
②③ Offenlegungstag: 8. 6. 2000

**DE 199 55 565 A 1**

③⑩ Unionspriorität:

P 10-329733 19. 11. 1998 JP  
P 11-128940 10. 05. 1999 JP

⑦① Anmelder:

NSK Ltd., Tokio/Tokyo, JP

⑦④ Vertreter:

Grünecker, Kinkeldey, Stockmair & Schwanhäusser,  
80538 München

⑦② Erfinder:

Yamamura, Kenji, Fujisawa, Kanagawa, JP; Ohori,  
Manabu, Fujisawa, Kanagawa, JP; Miyaguchi,  
Kazuo, Fujisawa, Kanagawa, JP

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Wälzkörper und Verfahren zu seiner Herstellung

⑤⑦ Mindestens ein Wälzkörper eines Wälzlagers oder einer Kugelumlaufspindel-Vorrichtung wird hergestellt aus einer Stahllegierung, die 0,1 bis 0,7 Gew.-% C, 0,1 bis 1,5 Gew.-% Si, 0,1 bis 1,5 Gew.-% Mn, 0,5 bis 3,0 Gew.-% Cr, 0,6 bis 2,0 Gew.-% V, 3,0 Gew.-% oder weniger Mo, 2,0 Gew.-% oder weniger Ni und als Rest Eisen und unvermeidbaren Verunreinigungen enthält und einer Carbonitrierung bei einer Temperatur von 920°C oder höher unterworfen, so daß eine Kohlenstoffdichte in der Oberfläche des fertigen Produkts in dem Bereich von 0,7 bis 1,3 Gew.-% und eine Stickstoffdichte in dem Bereich von 0,15 bis 0,3 Gew.-% erzielt werden, wodurch Carbid-, Nitrid- und Carbonitrid-Teilchen mit einem Korndurchmesser von 0,1 µm oder weniger in der fertigen Oberfläche in einer Menge von mindestens 400 Teilchen/100 µm<sup>2</sup> oder mehr ausgeschieden werden.

**DE 199 55 565 A 1**

## Beschreibung

## Anwendungsgebiet der Erfindung

5 Die Erfindung bezieht sich auf einen Wälzkörper eines Wälzlagers oder eines Kugelumlaufspindellagers für die Verwendung in Eisen- und Stahlapparaturen, in landwirtschaftlichen Maschinen, Fahrzeugen, Baumaschinen und anderen industriellen Maschinen und sie bezieht sich insbesondere auf einen Wälzkörper mit einer ausgezeichneten Abriebs- bzw. Verschleißfestigkeit, der für Anwendungszwecke geeignet ist, bei denen insbesondere eine hohe Abriebs- bzw. Verschleißfestigkeit erforderlich ist. Die Erfindung bezieht sich außerdem auf ein Verfahren zur Herstellung des Wälzkörpers.

## Beschreibung des verwandten Standes der Technik

15 Ein Wälzlager ist bei seiner praktischen Verwendung strengen Bedingungen ausgesetzt, z. B. wiederholten Scherbeanspruchungen unter einem hohen Lagerdruck, und es ist daher erforderlich, daß das Wälzlager eine hohe Wälz-Dauerfestigkeit aufweist (nachstehend kurz als "Lebensdauer" bezeichnet), so daß es gegen Scherbeanspruchung beständig ist. Zu diesem Zweck wird in dem verwandten Stand der Technik ein hochlegierter Chromstahl (SUI2) für Lager-Laufringe (innere und äußere Laufringe), bei denen es sich um die Wälzkörper des Wälzlagers handelt, oder für Rohlinge zur Herstellung von Wälzkörpern verwendet und dieser wird einer Härtung und Vergütung unterworfen zur Erzielung einer

20 Rockwell-Härte von HRC 58 bis 64, um die gewünschte Lebensdauer zu erreichen. Ein Beispiel für die Verbesserung der Lebensdauer ist die Verwendung eines Einsatz-Stahls als Ersatz für SUI2. In diesem Fall ist es erforderlich, eine Härtekurve festzulegen, die der Verteilung der durch den Kontaktdruck verursachten inneren Scherbeanspruchung folgt. Daher werden die niedriglegierten (kohlenstoffarmen) Einsatzstähle SCR420H, SCM420H, SAE8620H oder SAE4320, die gute Härtungs-Eigenschaften aufweisen, verwendet und einer Carburierungs- oder Carbonitrierungs-Behandlung, einer Härtung und Vergütung unterworfen, so daß die Oberflächenhärte des Lagerelements eine Härte von HRC30 bis 48 aufweist, um die erforderliche Lebensdauer (Dauerfestigkeit) zu gewährleisten.

Die Entwicklung von hochbelasteten Maschinen mit hoher Laufgeschwindigkeit, in denen Wälzlager verwendet werden, schreitet jedoch fort und die Anwendungs-Bedingungen für die Wälzlager sind wesentlich härter geworden. Gleichzeitig treten dabei die folgenden Probleme auf.

Die Probleme bestehen darin, daß durch die hohe Belastung und die hohe Laufgeschwindigkeit die Temperatur ansteigt und die Härte des Wälzkörpers des Lagers dadurch beeinträchtigt wird, was zu einer Beeinträchtigung der Dauerfestigkeit (Lebensdauer) des Wälzlagers und seiner Verschleißfestigkeit führt. Insbesondere nimmt die Verschleißfestigkeit deutlich ab und die Dauerfestigkeit (Lebensdauer) wird verkürzt durch Anstieg des Schlupfes (Rutschens) aufgrund der hohen Geschwindigkeit und durch Verschlechterung der Schmierfähigkeit als Folge einer niedrigeren Viskosität des Schmiermittels, die durch die Steigerung der Temperatur verursacht wird.

Andererseits treten bei einem Lager, das bei einer sehr niedrigen Geschwindigkeit verwendet wird, z. B. in einer kontinuierlichen Gießvorrichtung, Abriebs- bzw. Verschleißprobleme auf, weil in unzureichender Weise Ölfilme gebildet werden.

40 Als Gegenmaßnahme ist in JP-A-8-049057 angegeben, daß ein Stahl, der 0,8 bis 2,0 Gew.-% V enthält, einer Carburierung oder Carbonitrierung unterworfen wird, um den Bedingungen zu genügen, wonach die Kohlenstoffdichte in der Oberfläche des Wälzkörpers des Wälzlagers 0,8 bis 1,5 Gew.-% und das V/C-Dichteverhältnis in der Oberfläche 1 bis 2,5 betragen muß, wodurch VC-Carbide in der Oberfläche des Produkts ausgeschieden werden. Es werden darin jedoch keine Überlegungen bezüglich der Stickstoff-Dichte angestellt, welche die Abriebs- bzw. Verschleißfestigkeit beeinflusst.

45 In JP-A-8-311603 ist angegeben, daß die Verschleißfestigkeit stark verbessert wird, wenn die Stickstoffdichte in der fertigen Oberfläche des Wälzkörpers 0,3 Gew.-% oder mehr beträgt, es bleibt jedoch das Problem ungelöst, daß die Wärmebehandlung von großtechnischen Produkten die nach den Wärmebehandlungen große Schleifbereiche erfordern, sehr lange dauert, da der Diffusions-Koeffizient des Stickstoffs niedrig ist, und daß das Schleifen mehr Zeit als üblich erfordert.

50 Die Verschleißprobleme, die bei den strengen Anwendungs-Bedingungen auftreten, können auftreten bei Kugelumlaufspindelwellen, Kugelmuttern oder Kugeln als Wälzkörper einer Kugelumlaufspindel-Vorrichtung. Insbesondere eine Kugelumlaufspindel-Vorrichtung wird neuerdings unter Hochlast-Bedingungen anstelle von hydraulischen Zylindern in einer Spritzgieß-Vorrichtung oder in Preß-Vorrichtungen verwendet und in diesen Fällen wird die Kugelumlaufspindel-Vorrichtung einmal gestoppt, wenn eine maximale Belastung darauf einwirken gelassen wird und umgedreht. Aber vor und nach dem Abstoppen ist es schwierig, ein Schmiermittel zwischen eine Umlaufspindelrille und eine Kugel einzuführen und es wird kaum ein Ölfilm gebildet, so daß ein Metall-Metall-Kontakt auftritt, der leicht zu einem hohen Verschleiß führt.

## Zusammenfassung der Erfindung

60 Ziel der Erfindung ist es daher, die ungelösten Probleme des Standes der Technik in bezug auf die Wälzkörper, welche die Wälzlager oder Kugelumlaufspindel-Apparaturen aufbauen, zu lösen, indem man darauf achtet, daß dann, wenn 0,6 Gew.-% oder mehr V zugegeben werden und eine Carbonitrierung bei 920°C oder höher durchgeführt wird, feine Carbide oder Carbonitride mit einer Teilchengröße von 0,1 µm oder weniger in der Produkt-Oberfläche ausgeschieden werden, und Ziel der Erfindung ist es daher, einen Wälzkörper zur Verfügung zu stellen, der eine ausgezeichnete Abriebs- bzw. Verschleißfestigkeit aufweist, indem man die Ausscheidungs menge pro Einheitsfläche der feinen Carbide und Carbonitride festlegt.

Dieses Ziel wird erfindungsgemäß dadurch erreicht, daß mindestens ein Wälzkörper eines Wälzlagers und/oder einer

Kugelumlaufspindel-Vorrichtung hergestellt wird aus einem Legierungsstahl, der 0,1 bis 0,7 Gew.-% C, 0,1 bis 1,5 Gew.-% Si, 0,1 bis 1,5 Gew.-% Mn, 0,5 bis 3,0 Gew.-% Cr, 0,6 bis 2,0 Gew.-% V, 3,0 Gew.-% oder weniger Mo, 2,0 Gew.-% oder weniger Ni und als Rest Fe und unvermeidbare Verunreinigungen enthält, und bei einer Temperatur von 920°C oder höher einer Carbonitrierung unterworfen wird, so daß die Kohlenstoffdichte in der Oberfläche des fertigen Produkts auf 0,7 bis 1,3 Gew.-% eingestellt wird und die Stickstoffdichte desselben auf 0,15 bis 0,3 Gew.-% eingestellt wird, wodurch Carbid, Nitrid und Carbonitrid mit einem Korndurchmesser von 0,1 µm oder weniger in einer Menge von mindestens 400 Teilchen/100 µm<sup>2</sup> oder mehr in der fertigen Oberfläche ausgeschieden werden.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Die Fig. 1A und 1B zeigen schematische Ansichten der Verschleißtest-Vorrichtung vom 2-Zylinder-Typ, wobei die Fig. 1A eine Frontansicht derselben und die Fig. 1B eine Seitensicht derselben darstellen.

Die Fig. 2 stellt ein Diagramm dar, das die Beziehung zeigt zwischen der V-Dichte (in Gew.-%) und der Tiefe, in der die N-Dichte 0,25 Gew.-% beträgt (Abstand von der Oberfläche in mm), die durch die Wärmebehandlungen erhalten werden.

Die Fig. 3 stellt ein Diagramm dar, das die Verteilungen des Korndurchmessers des Carbids, Nitrids und Carbonitrids in der Oberfläche der fertigen Produkte des Wälzlagers gemäß der Erfindung zeigt.

Die Fig. 4 stellt ein Diagramm dar, das die Verteilungen des Korndurchmessers des Carbids, des Nitrids und des Carbonitrids in der Oberfläche der fertigen Produkte des Wälzlagers des Vergleichsbeispiels zeigt.

#### Detaillierte Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen

Die Erfindung wird nachstehend anhand bevorzugter Ausführungsformen unter Bezugnahme auf die beiliegenden Zeichnungen näher beschrieben.

Die Erfinder dieser Anmeldung haben wiederholt Untersuchungen über die Beziehung zwischen der Abriebs- bzw. Verschleißfestigkeit der Wälzkörper, die das Wälzlager und die Kugelumlaufspindel-Vorrichtung aufbauen, und der Stickstoffdichte der Produkt-Oberfläche und der weiteren chemischen Zusammensetzung der Materialien durchgeführt und dabei gefunden, daß dann, wenn ein Stahlmaterial, das mit 0,6 Gew.-% oder mehr V versetzt worden ist, bei hohen Temperaturen von 920°C oder höher carbonitriert wird, der Stickstoff-Diffusionskoeffizient hoch wird und gleichzeitig sehr feine Carbide, Nitride und Carbonitride mit einer Teilchengröße von 0,1 µm oder weniger ausgeschieden werden.

Dieses Phänomen kann wie folgt erklärt werden: das Carbid, Nitrid und Carbonitrid von V haben alle eine Struktur vom NaCl-Typ. Wenn eine Carbonitrierungs-Behandlung bei hohen Temperaturen durchgeführt wird, so daß ein Carbid, Nitrid und Carbonitrid von V gebildet wird, das keine anderen Legierungs-Elemente als V (z. B. Cr oder Fe) enthält, nähert sich der Diffusionskoeffizient von Stickstoff dem Diffusionskoeffizienten von Kohlenstoff und das Carbid, Nitrid und Carbonitrid von V weisen eine sehr niedrige Wachstums-Geschwindigkeit auf.

Die Erfinder haben ferner gefunden, daß dann, wenn dieses feine Carbid, Nitrid und Carbonitrid in großer Menge ausgeschieden werden, eine ausgezeichnete Abriebs- bzw. Verschleißfestigkeit erhalten werden kann, ohne daß die Stickstoffdichte mehr als in dem erforderlichen Umfang erhöht wird, und daß insbesondere ein Carbid, Nitrid und Carbonitrid mit einem Korndurchmesser von 0,1 µm oder weniger hervorragend geeignet sind zur Verbesserung der Abriebs- bzw. Verschleißfestigkeit des Wälzkörpers, und darauf beruht die vorliegende Erfindung.

Insbesondere wird bei einem Wälzlager beispielsweise mindestens ein innerer Laufring, ein äußerer Laufring und/oder ein Wälzkörper, welche die Wälzlager-Elemente darstellen, oder bei einer Kugelumlaufspindel-Vorrichtung beispielsweise mindestens eine Kugelumlaufspindelwelle, eine Kugelmutter und/oder eine Kugel, welche die Wälzlager-Elemente derselben darstellen, hergestellt aus einem Legierungsstahl, der 0,1 bis 0,7 Gew.-% C, 0,1 bis 1,5 Gew.-% Si, 0,1 bis 1,5 Gew.-% Mn, 0,5 bis 3,0 Gew.-% Cr, 0,6 bis 2,0 Gew.-% V, 3,0 Gew.-% oder weniger Mo, 2,0 Gew.-% oder weniger Ni und als Rest Fe und unvermeidbare Verunreinigungen enthält, wobei der Legierungsstahl einer Carbonitrierung bei 920°C oder höher unterworfen wird, so daß die Kohlenstoffdichte in der Oberfläche des fertigen Produkts auf 0,7 bis 1,3 Gew.-% und die Stickstoffdichte desselben auf 0,15 bis 0,3 Gew.-% eingestellt werden, wodurch ein Carbid, Nitrid und Carbonitrid mit einem Korndurchmesser von 0,1 µm oder weniger in einer Menge von mindestens 400 Teilchen/100 µm<sup>2</sup> oder mehr in der Oberfläche des fertigen Produkts ausgeschieden werden.

Auf diese Weise ist als Folge der durch V verursachten Beschleunigung der Stickstoff-Diffusion eine ausgezeichnete Abriebs- bzw. Verschleißfestigkeit erhältlich ohne Erhöhung der Stickstoffdichte über den notwendigen Wert hinaus und beispielsweise kann die Wärmebehandlungsdauer bei großtechnischen Produkten, die einen breiten Schleifrand nach der Wärmebehandlung aufweisen, verkürzt werden und es ist möglich, Wälzelemente mit einer ausgezeichneten Abriebs- bzw. Verschleißfestigkeit billig anzubieten.

Nachstehend wird die kritische Bedeutung der chemischen Zusammensetzung des Legierungsstahls zur Herstellung des erfindungsgemäßen Wälzkörpers, der eine ausgezeichnete Abriebs- bzw. Verschleißfestigkeit aufweist, näher erläutert.

#### C-Gehalt: 0.1 bis 0.7 Gew.-%

C ist ein Element, das erforderlich ist für die Verbesserung der Härte nach der Aushärtung und Vergütung durch Herstellung einer Martensit-Matrix.

Der Grund für die Festlegung des C-Gehaltes auf 0,1 Gew.-% oder mehr, ist der, daß dadurch die erforderliche Festigkeit des Wälzkörpers sichergestellt wird. Der Grund für die Festlegung der Obergrenze auf 0,7 Gew.-% ist der, daß bei Überschreiten dieses Bereiches ein Carbid bereits ausgefällt wird, während es sich noch im Zustand eines Rohmaterials

befindet, wodurch die Verarbeitbarkeit beim plastischen Verformen oder maschinellen Bearbeiten zur Herstellung von Produkten vor der Wärmebehandlung beeinträchtigt (verschlechtert) wird.

Si-Gehalt: 0.1 bis 1.5 Gew.-%

Si ist ein Element, das erforderlich ist als Desoxidationsmittel bei der Herstellung von Stahl und es ist wirksam zur Erhöhung der Beständigkeit gegen Weichwerden beim Anlassen und zur Verbesserung der Dauerfestigkeit (Lebensdauer). Es ist daher in einer Menge von 0,1 Gew.-% oder mehr enthalten, die Obergrenze wird jedoch auf 1,5 Gew.-% festgelegt, da es das Eindringen von Kohlenstoff oder Stickstoff von der Oberfläche her beim Carbonitrieren verhindert und die Wärmebehandlungs-Produktivität herabsetzt.

Mn: 0.1 bis 1.5 Gew.-%

Mn ist ein Element, das erforderlich ist als Desoxidationsmittel und als Desulfurierungsmittel und es ist wirksam zur Verbesserung der Härbarkeit. Deshalb ist es in einer Menge von 0,1 Gew.-% oder mehr enthalten. Die Obergrenze wird jedoch auf 1,5 Gew.-% festgelegt, da eine größere Zugabemenge die maschinelle Verarbeitbarkeit verschlechtert.

V: 0,6 bis 2.0 Gew.-%

V erhöht die Beständigkeit gegen Weichwerden beim Anlassen und bildet ein sehr feines Carbid, Nitrid und Carbonitrid mit einer hohen Härte, das wirksam ist in bezug auf die Verbesserung der Abriebs- bzw. Verschleißfestigkeit. Um die Stickstoffdichte in dem tiefen Abschnitt ansteigen zu lassen, wenn die Carbonitrierung bei hoher Temperatur durchgeführt wird, ist es bevorzugt, 0,6 Gew.-% oder mehr V zuzugeben, und daher wird die Untergrenze auf 0,6 Gew.-% festgelegt. Andererseits kann, wenn zu viel V zugegeben wird, die Zugabemenge nicht absorbiert werden, so daß die Verarbeitbarkeit schlechter wird. Außerdem ist dieses Element teuer und daher nachteilig für die Kosten, weshalb die Obergrenze auf 2,0 Gew.-% festgelegt wird.

Cr: 0.5 bis 3.0 Gew.-%

Zusätzlich zur Verbesserung der Härbarkeit und der Verfestigung der festen Lösung der Matrix ist Cr nützlich zur Ausscheidung von Carbiden, Nitriden und Carbonitriden in den Oberflächenschichten der Wälzkörper durch Anwendung einer Carbonitrierung, wodurch die Wälz-Dauerfestigkeit (-Lebensdauer) und die Abriebs- bzw. Verschleißfestigkeit verbessert werden. Eine bevorzugte untere Grenze für den Cr-Gehalt wird auf 0,5 Gew.-% festgelegt, weil bei tieferen Gehalten der Zugabeeffekt gering ist. Im Gegensatz dazu entstehen bei einer größeren Zugabemenge Cr-Oxide in der Produkt-Oberfläche, wodurch das Eindringen von Kohlenstoff oder Stickstoff von der Oberfläche her beim Carbonitrieren verhindert wird, was zu einer Verschlechterung der Wärmebehandlungs-Produktivität führt. Deshalb wird die Obergrenze auf 3,0 Gew.-% festgelegt.

Mo: 3.0 Gew.-% oder weniger

Mo ist wirksam zur Erhöhung der Beständigkeit gegen Weichwerden beim Anlassen und der Ausscheidung von (ebenso wie Cr) Carbiden, Nitriden und Carbonitriden in den Oberflächenschichten der Wälzkörper bei der Carbonitrierung und zur Verbesserung der Wälz-Dauerfestigkeit (-Lebensdauer) und der Abriebs- und Verschleißfestigkeit. Die Obergrenze wird festgelegt auf 3,0 Gew.-%, weil eine größere Zugabemenge die plastische Verarbeitbarkeit beeinträchtigt und weil Mo teuer ist.

Ni: 2.0 Gew.-% oder weniger

Ni ist ein wirksames Element zur Verbesserung der Zähigkeit, da es einen Feststoff in der Matrix darstellt. Eine zu große Zugabemenge erhöht jedoch übermäßig stark die Menge an Rest-Austenit in der Oberflächenschicht, was zu einer Herabsetzung der Härte führt, und deshalb wird die Obergrenze auf 2,0 Gew.-% festgelegt.

Außer den obengenannten Legierungselementen können P in einer Menge von  $\leq 0,02$  Gew.-%, S in einer Menge von  $\leq 0,05$  Gew.-%, Cu in einer Menge von 0,10 Gew.-% und O in einer Menge von  $\leq 15$  ppm als unvermeidbare Verunreinigungen darin enthalten sein und eine Beschränkung auf O  $\leq 10$  ppm ist wünschenswert, um nicht-metallische Einschlüsse, die für die Wälzlager-Dauerfestigkeit schädlich sind, so gering wie möglich zu halten.

Außerdem sei noch auf die kritische Bedeutung der Kohlenstoffdichte, der Stickstoffdichte, des feinen Carbids, Nitrids und Carbonitrids in der Oberfläche des fertigen Produkts, bei dem es sich um einen Wälzkörper mit ausgezeichneter Abriebs- bzw. Verschleißfestigkeit handelt, hingewiesen.

Kohlenstoffdichte in der Oberfläche: 0.7 bis 1.3 Gew.-%

Zur Erzielung der für einen Wälzkörper erforderlichen Oberflächenhärte sind in der Regel 0,8 Gew.-% oder mehr C erforderlich, da jedoch erfindungsgemäß der Stickstoff durch Carbonitrierung eingeführt wird, wird die untere Grenze auf 0,7 Gew.-% festgelegt. Wenn der Kohlenstoffgehalt zusammen mit dem Stickstoff übermäßig hoch ist, nimmt die Rest-Austenit-Menge in der Oberfläche übermäßig stark zu, wodurch die Härte herabgesetzt wird oder Pro-Eutektoid-Zementit ausgefällt wird, so daß die Wälzlager-Dauerfestigkeit wahrscheinlich abnimmt und deshalb wird die Obergrenze auf 1,3 Gew.-% festgelegt.

Stickstoffdichte in der Oberfläche: 0.15 bis 0.3 Gew.-%

Der Stickstoff ist ein sehr wirksames Element zur Verbesserung der Abriebs- bzw. Verschleißfestigkeit und er wird der Oberflächenschicht durch die Carbonitrierungsbehandlung zugeführt, wobei ein Stickstoff-Gehalt von weniger als 0,15 Gew.-% keinen ausreichenden Effekt ergibt. Ein zu hoher Stickstoff-Gehalt verschlechtert jedoch die Schleifbarkeit. Bei der Herstellung von großtechnischen Produkten ist ein hoher Stickstoff-Gehalt in dem tiefen Abschnitt erforderlich. Dann dauert die Wärmebehandlung lange, die Kosten steigen und deshalb wird die Obergrenze auf 0,3 Gew.-% festgelegt. 5

Carbid, Nitrid und Carbonitrid mit einem Korndurchmesser von 0,1  $\mu\text{m}$  oder weniger in einer Menge von 400 Teilchen/100  $\mu\text{m}^2$  oder mehr 10

Feines Carbid, Nitrid und Carbonitrid weisen starke Effekte auf in bezug auf die Verbesserung der Abriebs- bzw. Verschleißfestigkeit, insbesondere diejenigen mit einer Teilchengröße von 0,1  $\mu\text{m}$  oder weniger sind hoch wirksam und ihre Effekte werden ausgeprägt durch Ausscheidung derselben in einer Dichte von 400 Teilchen/100  $\mu\text{m}^2$  oder mehr. 15

#### Beispiele

Die Erfindung wird nachstehend anhand von Vergleichstests zwischen erfindungsgemäßen Beispielen und Vergleichsbeispielen näher erläutert. 20

Zuerst werden die Tests beschrieben, denen die Wälzkörper des Wälzlagers ausgesetzt werden.

Die Tabelle 1 zeigt die hauptsächlichen chemischen Zusammensetzungen verschiedener Arten von legierten Stahlmaterialien, die in den Tests verwendet werden.

Verschleißtests vom Zwei-Zylinder-Typ, wie in Fig. 1 dargestellt, wurden durchgeführt, um den Einfluß der Legierungselemente und der Wärmebehandlungen auf die Verschleißfestigkeit zu untersuchen. Die Tests wurden in der Weise durchgeführt, daß Teststücke S jeweils an einem Paar von vertikal einander gegenüberliegenden Achsen 10 befestigt wurden und die Achsen mit einer niedrigen Geschwindigkeit in zueinander entgegengesetzten Richtungen gedreht wurden, während eine Belastung P unter der Bedingung, daß die Achsen miteinander in Kontakt kamen, darauf einwirken gelassen wurde, um so einen Durchschnittswert der Verschleißraten (g/m) beider Teststücke S zu erhalten. Insbesondere wurde ein Schmiermittel mit einer niedrigen Viskosität, bei dem ein Ölfilm leicht abläuft, während der Rotation aufgegossen zum Testen der Verschleiß-Eigenschaft bei schlechten Schmier-Bedingungen. Die Verschleiß-Testbedingungen waren folgende: 25 30

Belastung: 200 kgf (2,0 kN)

Drehzahl: 10 UpM

% Schlupf: 20%

Schmiermittel: Spindelöl 35

Öl-Temperatur: 80°C

Die Teststücke wurden wie nachstehend angegeben wärmebehandelt, um den Einfluß der Wärmebehandlung auf die Verschleißfestigkeit zu bestimmen. 40

Tabelle 1

(Gew.-%)

Stahl- arten	C	Si	Mn	Cr	V	Mo	Ni
A	0,10	0,40	0,75	1,45	0,98	—	—
B	0,25	0,10	0,80	1,50	0,96	—	—
C	0,42	0,38	0,82	1,51	1,00	—	—
D	0,41	0,35	0,81	1,51	1,05	0,05	—
E	0,39	0,37	0,10	1,48	0,95	—	—
F	0,35	0,36	0,78	0,50	0,99	—	—
G	0,45	0,37	0,80	1,55	0,60	—	—
H	0,40	0,35	0,82	1,49	1,49	—	—
I	0,40	0,35	0,80	1,50	2,00	—	—
J	0,70	0,25	0,30	1,51	1,00	—	—
K	0,39	0,88	0,80	1,50	1,01	—	—
L	0,38	1,50	0,82	1,51	1,02	—	—
M	0,41	0,36	1,50	1,50	1,01	—	—
N	0,40	0,37	0,81	3,00	1,00	—	—
O	0,25	0,37	0,81	1,51	1,01	0,98	—
P	0,18	0,25	0,42	1,50	1,01	3,00	—
Q	0,25	0,28	0,40	1,52	1,02	—	1,50
R	0,25	0,28	0,39	1,50	1,00	—	3,00
S	0,42	0,36	0,81	1,51	0,80	—	—
T	0,20	0,32	0,75	1,08	—	—	—

## Wärmebehandlung A

Die Carbonitrierung wurde 6 bis 8 h lang bei 920 bis 950°C durchgeführt, während ein angereichertes Gas und Ammoniakgas einer endothermen Gasatmosphäre zugesetzt wurden, und dann wurden die Teststücke an der Luft abgekühlt oder bis auf Raumtemperatur langsam abkühlen gelassen. Danach wurden die Teststücke einer sekundären Härtung bei 820 bis 880°C unterworfen und 2 bis 3 h lang bei 160 bis 180°C angelassen (vergütet).

## Wärmebehandlung B

Die Carbonitrierung wurde 6 bis 8 h lang bei 870 bis 900°C durchgeführt, während angereichertes Gas und Ammoniakgas der endothermen Gasatmosphäre zugesetzt wurden, und dann wurden die Teststücke an der Luft abgekühlt oder langsam auf Raumtemperatur abkühlen gelassen. Anschließend wurden die Teststücke einer sekundären Härtung bei 820 bis 880°C unterzogen und 2 bis 3 h lang bei 160 bis 180°C angelassen (vergütet).

## Wärmebehandlung C

Eine übliche Carburierungs-Behandlung wurde 6 bis 8 h lang bei 920 bis 950°C durchgeführt und dann wurden die Teststücke an der Luft liegen gelassen, bis sie sich auf Raumtemperatur abgekühlt hatten. Danach wurden die Teststücke einer sekundären Härtung bei 820 bis 880°C unterzogen und 2 bis 3 h lang bei 160 bis 180°C angelassen (vergütet).

Die Beziehung zwischen den Wärmebehandlungs-Bedingungen und der V-Dichte werden nachstehend erläutert.

Die Fig. 2 zeigt die Beziehung zwischen der V-Dichte (in Gew.-%) und der Tiefe, in der die Stickstoffdichte 0,25 Gew.-% beträgt (Abstand von der Oberfläche in mm), wenn die Wärmebehandlungen A und B durchgeführt werden.

Wie aus dieser Figur ersichtlich, wird dann, wenn die Carbonitrierung bei einer hohen Temperatur wie die Wärmebehandlung A durchgeführt wird, eine hohe Stickstoffdichte bis in den tiefen Abschnitt nicht erzielt, wenn die V-Zugabemenge geringer als erwünscht ist, da das Stickstoffpotential in der Oberfläche abnimmt. Wenn jedoch die V-Dichte hoch ist, wird eine hohe Stickstoffdichte bis in den tiefen Abschnitt erzielt. Dieser Effekt ist bemerkenswert bei einer V-Zugabemenge von 0,6 Gew.-% oder mehr.

Bei einer niedrigen Behandlungs-Temperatur unter 900°C wie bei der Wärmebehandlung B ist der Effekt der V-Zugabe jedoch gering. Um eine hohe Stickstoffdichte bis in den tiefen Abschnitt zu erhalten, ist eine lange Wärmebehandlungszeit erforderlich.

Nachstehend werden die Ergebnisse des Verschleißtests näher beschrieben. Die verwendeten Teststücke wurden nach der Wärmebehandlung an den Test-Oberflächen einer Finish-Schleifbehandlung unterzogen.

In der Tabelle 2 sind die Verschleißtests, die mit Kombinationen der Stahlarten und der Wärmebehandlungen durchgeführt wurden, angegeben.

Tabelle 2

Nr.	Stahlarten	Wärmebehandlungen	Kohlenstoffdichte in der Oberfläche (%)	Stickstoffdichte in der Oberfläche (%)	N (Anzahl der Teilchen/100 $\mu\text{m}^2$ )	Verschleißrate ( $\times 10^{-6}$ g/m)	Bemerkungen
1	A	A	0,83	0,23	542	1,15	Beispiel
2	B	A	0,93	0,25	534	1,08	Beispiel
3	C	A	0,91	0,23	592	1,02	Beispiel
4	D	A	0,86	0,22	624	0,96	Beispiel
5	E	A	0,95	0,21	526	1,08	Beispiel
6	F	A	0,78	0,23	466	1,19	Beispiel
7	G	A	0,80	0,15	408	1,84	Beispiel
8	H	A	1,21	0,29	734	0,87	Beispiel
9	I	A	1,27	0,26	650	0,92	Beispiel
10	J	A	0,92	0,20	482	1,18	Beispiel
11	K	A	0,95	0,20	444	1,22	Beispiel
12	L	A	0,83	0,19	522	1,09	Beispiel
13	M	A	0,88	0,22	476	1,28	Beispiel
14	N	A	0,71	0,19	428	1,31	Beispiel
15	O	A	0,93	0,24	528	1,11	Beispiel
16	P	A	0,89	0,23	474	1,14	Beispiel
17	Q	A	0,87	0,21	510	1,18	Beispiel
18	R	A	0,82	0,23	548	1,09	Beispiel
19	S	A	0,97	0,11	182	6,13	Vgl.-Beispiel
20	T	A	1,02	0,01	156	7,02	Vgl.-Beispiel
21	C	B	0,87	0,24	266	4,58	Vgl.-Beispiel
22	C	C	0,91	—	242	4,27	Vgl.-Beispiel
23	T	C	0,87	—	64	9,38	Vgl.-Beispiel

Die Tabelle 2 zeigt die Kohlenstoffdichte, die Stickstoffdichte, und die Gesamtanzahl der Carbid-, Nitrid- und Carbonitrid-Teilchen N mit einem Korndurchmesser von 0,1  $\mu\text{m}$  oder weniger in den Oberflächenschichten der Teststücke.

Die Versuche Nr. 1 bis 18 sind erfindungsgemäße Beispiele, bei denen eine ausgezeichnete Verschleißfestigkeit erzielt wurde. Die Versuche Nr. 19 und 20 sind Vergleichsbeispiele mit einer niedrigeren V-Zugabemenge und aufgrund der unzureichenden V-Zugabe wird die erforderliche Stickstoffdichte nicht erreicht, so daß eine ausreichende Verschleißfestigkeit nicht erzielt wird. Das Vergleichsbeispiel Nr. 21 wurde durchgeführt mit der Carbonitrierungs-Behandlung bei der niedrigen Temperatur und es entstand daher eine geringe Anzahl von Carbid-, Nitrid- und Carbonitrid-Teilchen mit ei-



nem Korndurchmesser von 0,1 µm oder weniger und die erforderliche Verschleißfestigkeit wurde nicht erzielt.

In dem Vergleichsbeispiel Nr. 22 wurde eine Carburierungs-Behandlung durchgeführt und wegen des Fehlens von Stickstoff wurde die erforderliche Verschleißfestigkeit nicht erzielt.

In dem Vergleichsbeispiel Nr. 23 wurde ein konventioneller Stahl verwendet ohne V-Zugabe und ohne Carburierung und es wurde der größte Verschleiß erhalten.

Schließlich wird nachstehend der Einfluß der Verteilung der Korndurchmesser der Carbide-, Nitrid- und Carbonitrid-Teilchen in den Oberflächen der Teststücke (in den Oberflächen der fertigen Produkte) angegeben, wobei eine Abnahme der Verschleißrate erhalten wurde.

Die Fig. 3 zeigt in bezug auf das Beispiel Nr. 3 ebenso wie die Fig. 4 in bezug auf das Vergleichsbeispiel Nr. 21 die gemessenen Ergebnisse der Verteilungen der Korndurchmesser in den Oberflächen der jeweiligen Teststücke.

Wenn man beide miteinander vergleicht, so ergibt sich daraus, daß die Verteilungen der Korndurchmesser mit einer Größe von über 0,1 µm nicht sehr unterschiedlich sind und daß diejenigen der Teilchen mit einer Korngröße von 0,1 µm oder weniger ausgesprochen unterschiedlich sind. Die Verschleißraten sowohl in Tabelle 2 als auch in Beispiel Nr. 3 betragen  $1,02 \times 10^{-6}$  g/m, während diejenige des Vergleichsbeispiels Nr. 21 viermal so hoch ist und  $4,58 \times 10^{-6}$  g/m beträgt. Daraus ist zu ersehen, daß die Anzahl der Körnchen mit einem Durchmesser von 0,1 µm oder weniger von großer Bedeutung ist für die Abnahme der Verschleißrate. Die ausgezählten Ergebnisse in bezug auf die Anzahl N der Körnchen mit einem Durchmesser von 0,1 µm oder weniger, die in einer Fläche von  $100 \mu\text{m}^2$  oder weniger vorhanden sind, zeigt, wie in der Tabelle 2 dargestellt, daß bei den Beispielen Nr. 1 bis 18 jeweils mehr als 400 Teilchen erhalten wurden. Erfindungsgemäß wurde daher festgelegt, daß die Anzahl der Teilchen N 400 Teilchen/ $100 \mu\text{m}^2$  oder mehr betragen soll.

Aus den ausgezählten Ergebnissen der Anzahl N der Körnchen mit einem Durchmesser von 0,1 µm oder weniger in der Tabelle 2 ist zu ersehen, daß in dem Beispiel Nr. 8 die meisten Teilchen mit 734 Teilchen/ $100 \mu\text{m}^2$  erhalten wurden, die Erfindung ist darauf jedoch nicht beschränkt. Wenn jedoch zu viele Körnchen miteinander kombiniert werden und diese wachsen und als Folge davon der Korndurchmesser groß wird, wird die Verschleißfestigkeit dadurch möglicherweise beeinträchtigt. Deshalb kann die Anzahl der Teilchen N mit einem Korndurchmesser von 0,1 µm oder weniger gemäß der Erfindung bis zu einem solchen Grad erhöht werden, daß die Körnchen nicht durch Kombination miteinander wachsen.

Für den Fall, daß Körnchen mit einem Durchmesser von 0,1 µm oder weniger in einer Fläche von  $100 \mu\text{m}^2$  vorliegen, wird unter der Annahme, daß  $100 \mu\text{m}^2 = 10 \mu\text{m} \times 10 \mu\text{m}$  die maximale Anzahl N der Körnchen wie folgt errechnet:

$$(10 \mu\text{m}/0,1 \mu\text{m}) \times (10 \mu\text{m}/0,1 \mu\text{m}) = 10000 \text{ Teilchen } /100 \mu\text{m}^2$$

Wie jedoch vorstehend angegeben, ist es bevorzugt, daß die Anzahl N der Teilchen mit einem Korndurchmesser von 0,1 µm oder weniger nur bis zu einem solchen Grad erhöht wird, daß die Körnchen nicht durch Kombination miteinander (durch Aggregation) wachsen. Deshalb wird die Obergrenze für die Anzahl N der Körnchen mit einem Durchmesser von 0,1 µm oder weniger vorzugsweise auf den Wert von 2500 Körnchen/ $\mu\text{m}^2$  festgelegt.

Nachstehend werden Tests beschrieben, die durch Herstellung von Pendel-Wälzlager durchgeführt wurden.

Ein Pendel-Wälzlager weist eine verhältnismäßig große Kontaktellipse zwischen dem Lager-Laufring und dem Wälzkörper auf und dementsprechend sind der differentielle Schlupf und der Spin-Schlupf groß. Insbesondere dann, wenn das Pendel-Wälzlager in einer kontinuierlichen Gießvorrichtung verwendet wird, stellt der Verschleiß eines äußeren Laufringes, der als fixierter Laufring verwendet wird, ein Problem dar.

Dann wurde ein Pendel-Wälzlager vom Typ Nr. 22210CD (Außendurchmesser: 90 mm, Innendurchmesser: 50 mm, Breite 23 mm) wie nachstehend angegeben hergestellt zur Durchführung eines Dauerfestigkeitstests (Lebensdauertests). Die Stahllarten A bis T in Tabelle 1 wurden als Rohmaterialien für die äußeren Laufringe der zu testenden Wälzkörper verwendet und der Stahl SUJ2 der JIS-Stahllarten wurde für die inneren Laufringe und die Wälzkörper verwendet. Die Wärmebehandlungs-Bedingungen für den äußeren Laufring waren die gleichen wie in der Tabelle 2. Außerdem waren die Kohlenstoffdichte in der Oberfläche des äußeren Laufringes, die Stickstoffdichte in der Oberfläche, die Anzahl der Carbide-, Nitrid- und Carbonitrid-Teilchen mit einem Korndurchmesser von 0,1 µm oder weniger alle die gleichen wie in der Tabelle 2.

Die so hergestellten Pendel-Wälzlager wurden als Teststücke unter den folgenden Bedingungen getestet:

Belastung: 25 N

Drehzahl: 10 UpM

Test-Temperatur: 80°C

Schmiermittel: Fett auf Mineralölbasis

Testdauer: 300 h.

Die Tests wurden durchgeführt, während ein Ionentauschwasser in einer Menge von 0,1 ml/h zugeführt wurde, um einen Ölfilm leicht auslaufen zu lassen.

Nach den Tests wurden gebildete Bus-Spuren der Lagersoberflächen des äußeren Laufringes in einer Position der maximalen Belastung gemessen zum Ablesen der Tiefe eines maximalen Abriebs (Verschleißes). Die Werte bezüglich der Tiefe des maximalen Abriebs sind in der Tabelle 3 zusammen mit den Stahllarten, den Wärmebehandlungen, den Kohlenstoff- und Stickstoffdichten in den Oberflächen, der Anzahl N der Carbide-, Nitrid- und Carbonitrid-Teilchen mit einem Korndurchmesser von 0,1 µm oder weniger, der Verschleißrate und dgl. angegeben.

Wie aus der Tabelle 3 hervorgeht, kann auch im Falle der Pendel-Wälzlager gesagt werden, daß die erfindungsgemäßen Beispiele Nr. 1 bis 18 eine ausgezeichnete Verschleißfestigkeit aufweisen im Vergleich zu den Vergleichsbeispielen und den konventionellen Beispielen Nr. 19 bis 23.

Tabelle 3

Nr	Stahlarten	Wärmebehandlungen	Kohlenstoffdicke in der Oberfläche (%)	Stickstoffdicke in der Oberfläche (%)	N (Anzahl der Teilchen/100 $\mu\text{m}^2$ )	Verschleißrate ( $\times 10^{-6}$ g/m)	maximale Abriebtiefe ( $\mu\text{m}$ )	Bemerkungen
1	A	A	0,83	0,23	542	1,15	5	Beispiel
2	B	A	0,93	0,25	534	1,08	4	Beispiel
3	C	A	0,91	0,23	592	1,02	4	Beispiel
4	D	A	0,86	0,22	624	0,96	4	Beispiel
5	E	A	0,95	0,21	526	1,08	4	Beispiel
6	F	A	0,78	0,23	466	1,19	5	Beispiel
7	G	A	0,80	0,15	408	1,34	5	Beispiel
8	H	A	1,21	0,29	734	0,87	3	Beispiel
9	I	A	1,27	0,26	650	0,92	3	Beispiel
10	J	A	0,92	0,20	482	1,18	4	Beispiel
11	K	A	0,95	0,20	444	1,22	4	Beispiel
12	L	A	0,83	0,19	522	1,09	4	Beispiel
13	M	A	0,88	0,22	476	1,23	4	Beispiel
14	N	A	0,71	0,19	428	1,31	4	Beispiel
15	O	A	0,93	0,24	528	1,11	4	Beispiel
16	P	A	0,89	0,23	474	1,14	3	Beispiel
17	Q	A	0,87	0,21	510	1,18	4	Beispiel
18	R	A	0,82	0,23	548	1,09	4	Beispiel
19	S	A	0,97	0,11	182	6,13	24	Vgl.-Beispiel
20	T	A	1,02	0,01	156	7,02	27	Vgl.-Beispiel
21	C	B	0,87	0,24	266	4,58	19	Vgl.-Beispiel
22	C	C	0,91	—	242	4,27	20	Vgl.-Beispiel
23	T	C	0,87	—	64	9,38	35	Vgl.-Beispiel

Nachstehend werden Dauerhaltbarkeitstests beschrieben, die durch Herstellung einer Kugelumlaufspindel-Vorrichtung durchgeführt wurden.

Es wurde eine Kugelumlaufspindel-Vorrichtung mit einem axialen Durchmesser von 80 mm und einer Höhe von 20 mm hergestellt zur Durchführung des Tests. Als eingesetzte Materialien wurde die Stahlart D, wie in der Tabelle 1 angegeben, oder der Stahl SCM420H der JIS-Stahlart für die Kugelumlaufspindelachsen und die Kugelmuttern verwendet und es wurde die Stahlart D oder der Stahl SUJ2 der JIS-Stahlart für die Kugeln verwendet.

Diese Stahlarten wurden in variierender Weise kombiniert zur Herstellung der Kugelumlaufspindelachsen, der Kugel-

muttern und der Kugeln als Wälzkörper und es wurde die Kugelumlaufspindel-Vorrichtung aufgebaut zur Herstellung von Teststücken, wie in den Zeilen I bis IV der Tabelle 4 angegeben.

Tabelle 4

Bezeichnung	Achsen	Muttern	Kugeln	Abriebsverlust der Achse	Bemerkungen
I	D	D	D	2 µm	erfindungsgemäßes Beispiel
II	D	SCM420H	D	2 µm	erfindungsgemäßes Beispiel
III	D	SCM420H	SUJ2	4 µm	erfindungsgemäßes Beispiel
IV	SCM420H	SCM420H	SUJ2	12 µm	konventionelles Beispiel

Die Wärmebehandlungs-Bedingungen wurden je nach Stahlart des Rohmaterials wie nachstehend angegeben eingestellt.

Bei den Wälzkörpern aus der Stahlart D wurde die Carbonitrierung 1 bis 24 h lang bei 920 bis 950°C durchgeführt, während angereichertes Gas und Ammoniakgas einer endothermen Gasatmosphäre zugesetzt wurden, und dann wurden die Wälzkörper an der Luft abgekühlt oder langsam auf Raumtemperatur abkühlen gelassen. Danach wurden die Wälzkörper einer sekundären Härtung bei 820 bis 880°C unterzogen und 2 bis 3 h lang bei 160 bis 180°C angelassen (vergütet).

Bei den Wälzkörpern aus der Stahlart SCM420H eines JIS-Stahls wurde die übliche Carburierungs-Behandlung 6 bis 24 h lang bei 920 bis 950°C durchgeführt, an der Luft bis auf Raumtemperatur abkühlen gelassen, sie wurden einer Sekundärhärtung bei 820 bis 880°C unterzogen und 2 bis 3 h lang bei 160 bis 180°C angelassen (vergütet).

Kugeln aus der Stahlart SUJ2 eines JIS-Stahls wurden bei 820 bis 860°C gehärtet und bei 180 bis 220°C angelassen (vergütet).

Die zu testenden Kugelumlaufspindelachsen, Kugelmuttern und Kugeln wurden nach Durchführung der Wärmebehandlung einer Schleifbehandlung unterzogen und außerdem wurden die Kugeln einem Schlußfläppen unterworfen.

Mit der so hergestellten zu testenden Kugelumlaufspindel-Vorrichtung wurden die Dauerhaltbarkeitstests (Lebensdauertests) unter den folgenden Bedingungen durchgeführt:

Belastung: maximal 280 N

Drehzahl: maximal 150 UpM (Hin- und Herbewegung)

Schmiermittel: Fett auf Mineralölbasis

Anzahl der Durchgänge (Häufigkeit der Hin und Herbewegung) bei Dauerhaltbarkeitstest: 1 Million Durchgänge

Die Formen der Lagerrillen in den Kugelumlaufspindelachsen vor und nach den Tests wurden bestimmt, um die maximalen Tiefen des Abriebs für die Bewertung zu erhalten. Die bewerteten Ergebnisse sind in der Tabelle 4 angegeben. Wie daraus hervorgeht, ist es erfindungsgemäß möglich, den Abrieb (Verschleiß) der Kugelumlaufspindelachse, die unter Hochlast-Bedingungen betrieben werden soll, auf 1/3 bis 1/6 des Abriebs (des Verschleißes) gemäß dem Stand der Technik zu verringern.

Wie gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung erläutert, wird der legierte Stahl, der mit V = 0,6 Gew.-% oder mehr versetzt worden ist, einer Carbonitrierung bei 920°C oder mehr unterworfen, wobei Carbide-, Nitrid- und Carbonitrid-Teilchen mit einem Korndurchmesser von 0,1 µm oder weniger in einer Anzahl von mindestens 400 Teilchen/100 µm<sup>2</sup> in der Oberfläche des inneren Laufringes, des äußeren Laufringes und/oder des Wälzkörpers eines Wälzlagers als Endprodukt ausgeschieden werden. Mit der Erfindung ist es somit möglich, einen Wälzkörper anzubieten, der eine ausgezeichnete Abriebs- bzw. Verschleißfestigkeit aufweist.

Obgleich nur bestimmte Ausführungsformen der Erfindung hier näher beschrieben worden sind, ist es für den Fachmann klar, daß auch zahlreiche Modifikationen und Veränderungen vorgenommen werden können, ohne daß dadurch der Rahmen der vorliegenden Erfindung verlassen wird.

Die vorliegende Beschreibung bezieht sich auch auf den Gegenstand der japanischen Patentanmeldung Nr. Hei.10-329733, eingereicht am 19. November 1999, auf deren Gesamtheit hier ausdrücklich Bezug genommen wird.

#### Patentansprüche

1. Wälzkörper, **dadurch gekennzeichnet**, daß mindestens einer der Wälzkörper eines Wälzlagers oder einer Kugelumlaufspindel-Vorrichtung aus einem Legierungsstahl besteht, der enthält:  
0,1 bis 0,7 Gew.-% C, 0,1 bis 1,5 Gew.-% Si, 0,1 bis 1,5 Gew.-% Mn, 0,5 bis 3,0 Gew.-% Cr, 0,6 bis 2,0 Gew.-% V, 3,0 Gew.-% oder weniger Mo, 2,0 Gew.-% oder weniger Ni und als Rest Eisen und unvermeidbare Verunreinigungen.

gen,

der eine Kohlenstoffdicke in der Oberfläche des fertigen Produkts in dem Bereich von 0,7 bis 1,3 Gew.-% und eine Stickstoffdicke in dem Bereich von 0,15 bis 0,3 Gew.-% aufweist und

bei dem die Anzahl mindestens einer Art von Carbid-, Nitrid- und Carbonitrid-Teilchen mit einem Korndurchmesser von 0,1  $\mu\text{m}$  oder weniger, die in der fertigen Oberfläche ausgeschieden worden sind, mindestens 400 Teilchen/100  $\mu\text{m}^2$  oder mehr beträgt.

2. Wälzkörper nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Wälzlager ein Pendel-Wälzlager ist.

3. Wälzkörper nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Anzahl der mindestens einen Art von Carbid-, Nitrid- und Carbonitrid-Teilchen mit einem Korndurchmesser von 0,1  $\mu\text{m}$  oder weniger, die in der fertigen Oberfläche ausgeschieden worden sind, 400 bis 2500 Teilchen/100  $\mu\text{m}^2$  beträgt.

4. Verfahren zur Herstellung eines Wälzkörpers, insbesondere eines solchen nach den Ansprüchen 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß es die Stufen umfaßt:

Herstellung mindestens eines Wälzkörpers eines Wälzlagers oder mindestens eines Wälzkörpers einer Kugelumlaufspindel-Vorrichtung aus einem Legierungsstahl, der enthält 0,1 bis 0,7 Gew.-% C, 0,1 bis 1,5 Gew.-% Si, 0,1 bis 1,5 Gew.-% Mn, 0,5 bis 3,0 Gew.-% Cr, 0,6 bis 2,0 Gew.-% V, 3,0 Gew.-% oder weniger Mo, 2,0 Gew.-% oder weniger Ni und als Rest Eisen und unvermeidbare Verunreinigungen, und der bei einer Temperatur von 920°C oder höher carbonitriert wird, so daß mindestens eine Art von feinen Carbid-, Nitrid- und Carbonitrid-Teilchen in der fertigen Oberfläche des Wälzkörpers ausgeschieden wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß es außerdem die Stufe umfaßt:

Abkühlen des Wälzkörpers auf Raumtemperatur nach Durchführung der Carbonitrierung und

Wiedererwärmen des Wälzkörpers auf eine Temperatur von 820 bis 880°C, um dadurch eine Härtung des Wälzkörpers zu erzielen.

6. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Carbonitrierung bei einer Temperatur von 920 bis 950°C durchgeführt wird.

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

FIG. 1A

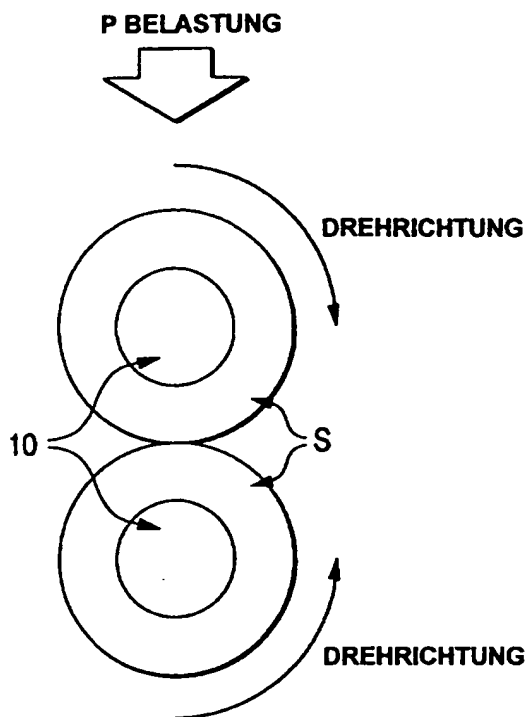


FIG. 1B

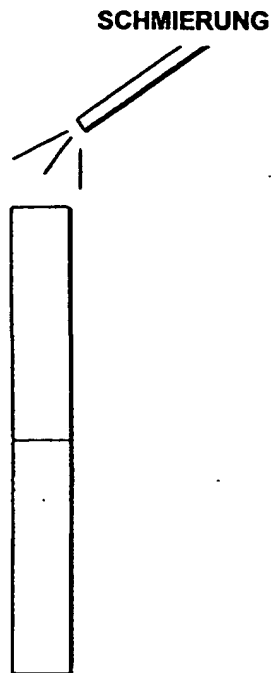


FIG. 2

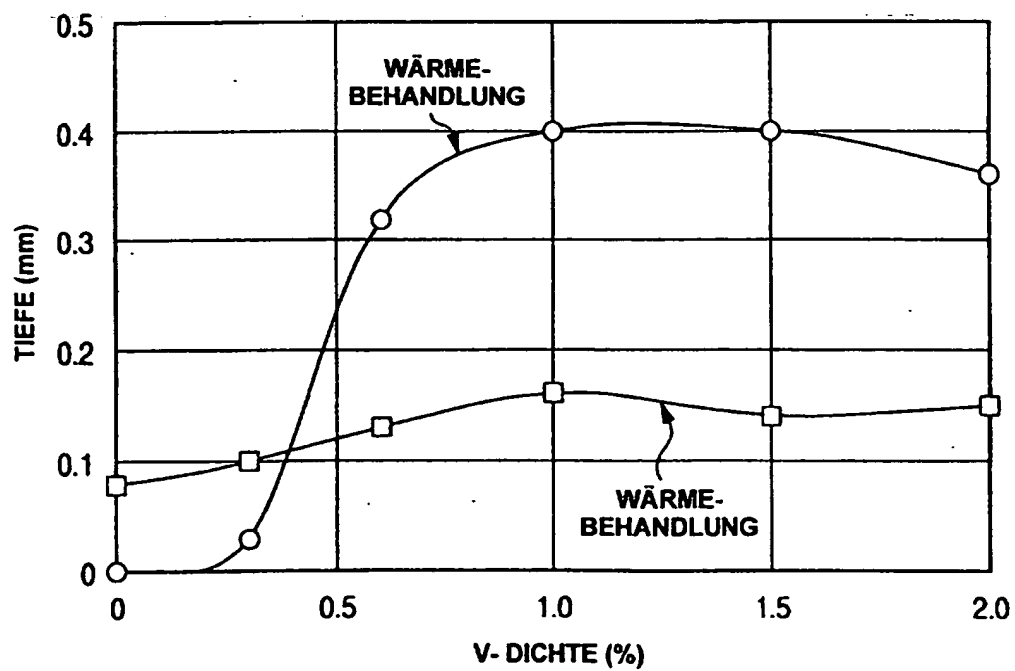


FIG. 3

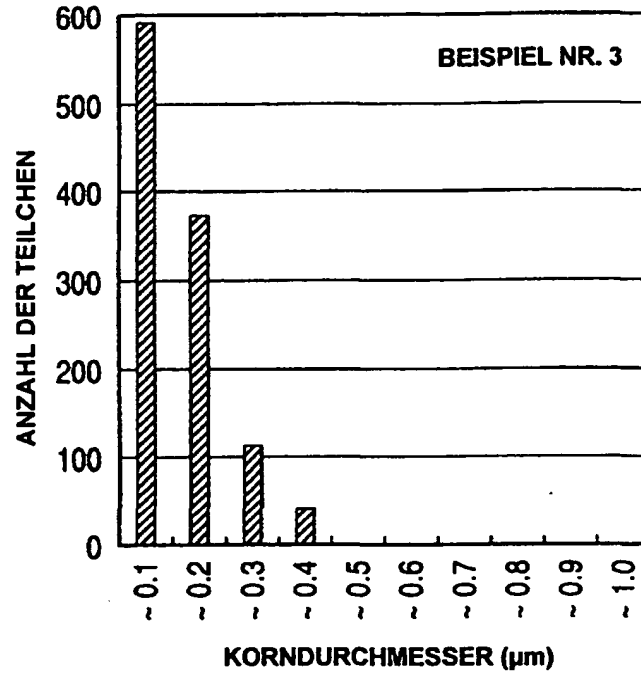


FIG. 4

